

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМПЛИТУДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЕ СВИНОМАТКИ, ПОРАЖЕННОЙ ПАТОГЕННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ

Михайлова Л. Н.¹, Черенков А. Д.²

¹ Подольский государственный аграрно-технический университет,

² Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Решена электродинамическая задача по распределению электромагнитного поля в молочной железе свиноматки с целью лечения мастита.

Постановка проблемы. В сельскохозяйственном производстве Украины свиноводство является одной из важнейших отраслей животноводства. Причем производство ее неуклонно возрастает. Однако несоблюдение условий полноценного кормления и соответствующей технологии содержания приводит к заболеванию и гибели большого количества поросят, особенно в первые 3 дня их жизни, и гибель может составлять от 10 до 20 % [1].

Анализ последних исследований и достижений. Основными незаразными болезнями организмов размножения и молочной железы у свиней является метрит-мастит-агалактия (ММА). У свиней воспаление молочной железы в большинстве случаев протекает в субклинической форме, которой поражается до 45...60 %, а в отдельных случаях до 70...80 % функционирующих долей молочной железы свиноматок [2]. В настоящее время для лечения мастита свиней применяют в основном антибиотики, которые не всегда приводят к выздоровлению животных и, кроме того, с мясом животных попадают в организм человека [3]. Поэтому разработка немедикаментозных способов лечения мастита свиноматок является актуальной задачей. Решение данной задачи возможно на основе применения электромагнитного излучения.

Цель статьи. Определение амплитуды электрического поля в молочной железе свиноматки при мастите для эффективного поражения патогенных микроорганизмов.

Основные материалы исследования. Решение задачи о распределении электромагнитного поля в молочной железе свиноматок, представленной в виде двухслойного диэлектрического кругового цилиндра, связано с решением уравнений Максвелла в полярной системе координат.

Представим уравнения Максвелла в этой системе координат и учтем, что ось X совпадает с осью цилиндра. Тогда будем иметь:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial E_x^\circ}{\partial \varphi} = i k_0 H_r^\circ, \quad \frac{\partial E_x^\circ}{\partial r} = -i k_0 H_\varphi^\circ, \quad (1)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r H_\varphi^\circ \right) - \frac{1}{r} \frac{\partial H_r^\circ}{\partial \varphi} = -i k_0 \varepsilon E_x^\circ,$$

где $H_r^\circ, H_\varphi^\circ, E_x^\circ$ – дифракционные компоненты магнитного и электрического поля в полярной системе координат;

$k_0 = \omega / C$ – волновое число;

C – скорость света.

Из выражения (1) получаем, что компонента электрического поля удовлетворяет уравнению Гельмгольца:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial E_x^\circ}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 E_x^\circ}{\partial \varphi^2} + k_0^2 \varepsilon E_x^\circ = 0. \quad (2)$$

Решение уравнения (2) было получено методом частичных областей и методом разделения переменных. В результате решения уравнения (2) напряженность электрического поля в области участка молочной железы, пораженной маститом, представлено в виде:

$$E_x^\circ = \hat{T} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} (-i)^n \frac{c_{2n} d_{1n} - c_{1n} d_{2n}}{b_{1n} c_{2n} - d_{2n} b_{2n}} \times \left(b_{1n} J_n(k_4 r) + b_{2n} H_n^{(1)}(k_4 r) \right) e^{in\varphi}, \quad (3)$$

где

$$\hat{T} = -0,5i\pi k_0 \sqrt{\varepsilon_4} b e^{ik_0 \sqrt{\varepsilon_3} h_3} T,$$

$$T = \frac{2A}{\sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \cos \gamma_+ + \sqrt{\varepsilon_3} \cos \gamma_- + i \sqrt{\frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_2} \sin \gamma_- - i \sqrt{\varepsilon_2} \sin \gamma_+}},$$

$$\gamma_\pm = k_0 \left[h_1 \left(\sqrt{\varepsilon_3} - \sqrt{\varepsilon_2} \pm \sqrt{\varepsilon_1} \right) + \sqrt{\varepsilon_3} h_2 \right],$$

$$d_{1n} = H_n^{(1)'}(k_4 b) J_n(k_3 b) - \frac{k_3}{k_4} H_n^{(1)'}(k_4 b) J_n'(k_3 b),$$

$$d_{2n} = H_n^{(1)'}(k_4 b) H_n^{(1)}(k_3 b) - \frac{k_3}{k_4} H_n^{(1)}(k_4 b) H_n^{(1)'}(k_3 b),$$

$$c_{1n} = \frac{k_3}{k_4} J_n(k_4 b) J_n'(k_3 b) - J_n'(k_4 b) J_n(k_3 b),$$

$$c_{2n} = \frac{k_3}{k_4} J_n(k_4 b) H_n^{(1)'}(k_3 b) - J_n'(k_4 b) H_n^{(1)}(k_3 b).$$

$$b_{1n} = J_n(k_5 a) H_n^{(1)'}(k_4 a) - \frac{k_5}{k_4} J_n'(k_5 a) H_n^{(1)}(k_4 a),$$

$$b_{2n} = \frac{k_5}{k_4} J_n(k_4 a) J_n'(k_5 a) - J_n'(k_4 a) J_n(k_5 a).$$

H_n и J_n – функции Ханкеля и Бесселя.

Для определения биотропных параметров ЭМП, приводящих к уничтожению патогенных микроорганизмов в молочной железе, было получено среднее значение напряженности электрического поля в области железы с патогенными микроорганизмами.

$$E_{cp} = \frac{i 8 a e^{i k_3 h_3} T J_0(k_5 a)}{(a+b) \pi^2 k_0 b} \cdot \left[\sqrt{\varepsilon_3} H_0^{(1)}(k_3 a) J_1(k_5 a) - \sqrt{\varepsilon_3} H_1^{(1)}(k_3 a) J_0(k_5 a) \right], \quad (4)$$

где

$$T = \frac{A}{\sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} \cos \gamma_+ + \sqrt{\varepsilon_3} \cos \gamma_- + i \sqrt{\frac{\varepsilon_3}{\varepsilon_2}} \sin \gamma_- - i \sqrt{\varepsilon_2} \sin \gamma_+},$$

$$\gamma_{\pm} = k_0 \left[h_1 \left(\sqrt{\varepsilon_3} - \sqrt{\varepsilon_2} \pm \sqrt{\varepsilon_1} \right) + \sqrt{\varepsilon_3} h_2 \right],$$

где A – амплитуда возбуждающей волны,

ε_1 – относительная диэлектрическая проницаемость слоя шерсти,

ε_2 – относительная диэлектрическая проницаемость слоя кожи,

ε_3 – относительная диэлектрическая проницаемость слоя мяса,

$\varepsilon_4 = \varepsilon_5$ – относительная диэлектрическая проницаемость молочной железы,

h_1 – толщина слоя шерсти,

h_2 – толщина слоя кожи,

h_3 – расстояния от нижней границы слоя кожи до молочной железы,

b – радиус цилиндра моделирующего молочную железу,

a – радиус цилиндра, моделирующего слой молочной железы, не подвергнувшейся поражению маститом.

$$k_3 = k_0 \sqrt{\varepsilon_3}, \quad k_5 = k_0 \sqrt{\varepsilon_5}, \quad k_0 = 2\pi f / c,$$

f – частота возбуждающей волны.

На основании уравнения (4) были проведены численные расчеты среднего значения электрического поля нормированного на амплитуду возбуждающей волны. Исследовалась зависимость этой величины $|E_{cp}/A|$ от частоты f возбуждающей волны. Расчеты проводились при следующих значениях электродинамических и геометрических параметров молочной железы: $h_1 = 0,5$ мм – толщина слоя шерсти; $h_2 = 0,5$ мм – толщина слоя кожи; $h_3 = 10$ мм – толщина слоя мяса; $b = 2,1$ мм – радиус цилиндра, моделирующего молочную железу; $a = 2$ мм – радиус цилиндра, моделирующего непораженный маститом слой молочной железы; $\varepsilon_1 = 4,63 \dots 5,36$ – относительная

диэлектрическая проницаемость слоя шерсти; $\varepsilon_2 = 5,9 \dots 7,9$ – относительная диэлектрическая проницаемость слоя кожи; $\varepsilon_3 = 46,5 \dots 47,3$ – относительная диэлектрическая проницаемость слоя мяса; $\varepsilon_4 = \varepsilon_5 = 4,2 \dots 4,5$ – относительная диэлектрическая проницаемость молочной железы (слой жира считался радиопрозрачным [4]). Частота возбуждающей волны изменялась в диапазоне $120 \text{ ГГц} \leq f \leq 150 \text{ ГГц}$.

Выводы. Анализ расчетов позволил установить, что зависимость амплитуды электрического поля является резонансной. При указанных выше электродинамических и геометрических параметрах максимальное значение среднего электрического поля достигается на частоте $f_{рез} = 142,8$ ГГц и составляет $|E_{cp}/A| = 0,7$. При частотах больших резонансной частоте $f > f_{рез}$ значение среднего поля резко уменьшается $|E_{cp}/A| \cong 10^{-3}$.

Список использованных источников

1. Yelnz S. Organisation der Reproduktion Landwirtschaftlicher Nutztierbestände / S. Yelnz, S. Ligner, V. Lescht U.f Veb Deutcher Landwirtschaftsveriag. – Berlin. – 1983.

2. Диагностика, терапия и профилактика болезней органов размножения и молочной железы у свиней / Методические рекомендации. – М.: Инфармагротс, 1998. – 21 с.

3. Комплексная экологически безопасная система защиты здоровья животных. – М.: ФГНУ "Росинфармагротех", 2000. – 300 с.

4. Исмаилов Э. Ш. Биофизическое действие СВЧ-излучений / Э. Ш. Исмаилов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.

Анотація

ВИЗНАЧЕННЯ АМПЛІТУДИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В МОЛОЧНІЙ ЗАЛОЗІ СВИНОМАТКИ, УРАЖЕНОЇ ПАТОГЕННИМИ МІКРООРГАНІЗМАМИ

Михайлова Л. Н., Черенков О. Д.

Розв'язана електродинамічна задача з розподілу електромагнітного поля в молочній залозі свиноматки з метою лікування маститу.

Abstract

DETERMINATION OF AMPLITUDE OF ELECTRIC FIELD IN SUCKLING GLAND OF THE SOW STAGGERED BY PATHOGENIC MICROORGANISMS

L. Mihailova, A. Cherenkov

Electrodynamic task on distribution of the electromagnetic field in the suckling gland of sow with the purpose of treatment of mastitis was solved.